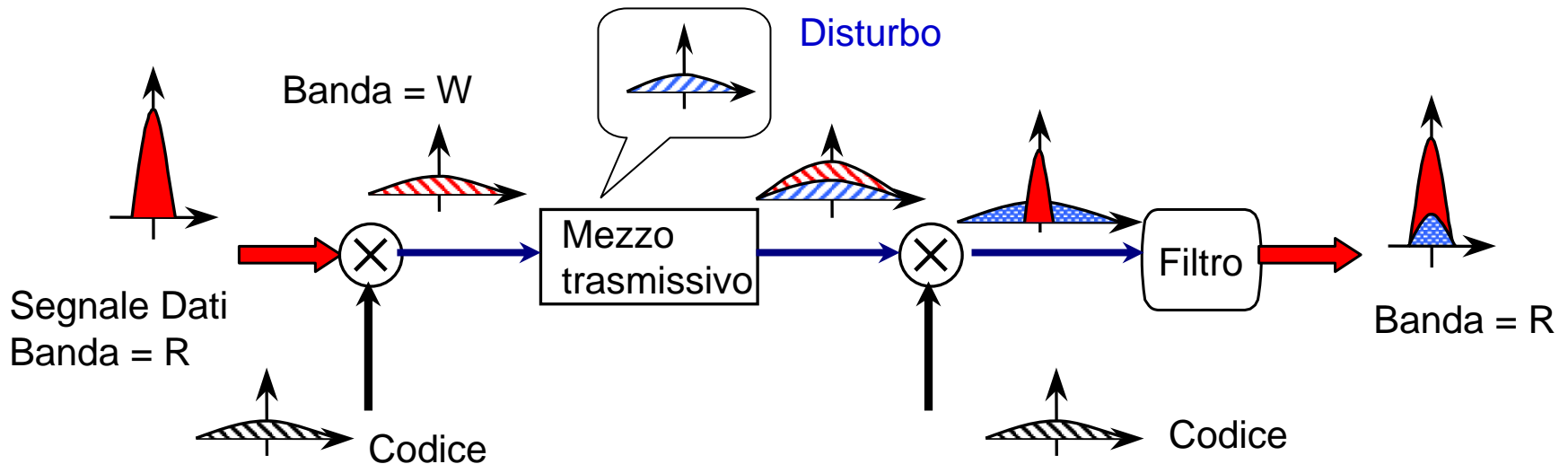


Richiami sui sistemi cdma (I)



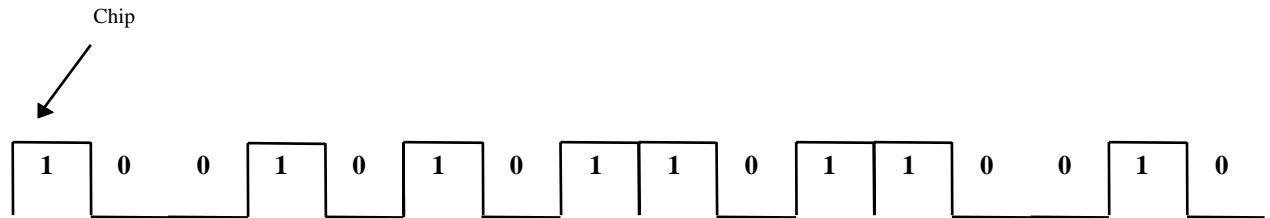
- La forma di CDMA più diffusa è quella basata su segnali **Spread Spectrum**
- La separazione tra gli utenti è ottenuta assegnando a ciascuno, con una operazione di moltiplicazione, un **codice** (operazione di **Spreading**)
- In ricezione l'operazione duale (**Despreading**) annulla (completamente o parzialmente) l'effetto delle interferenze mutue e consente di estrarre il segnale desiderato

Richiami sui sistemi cdma (II)

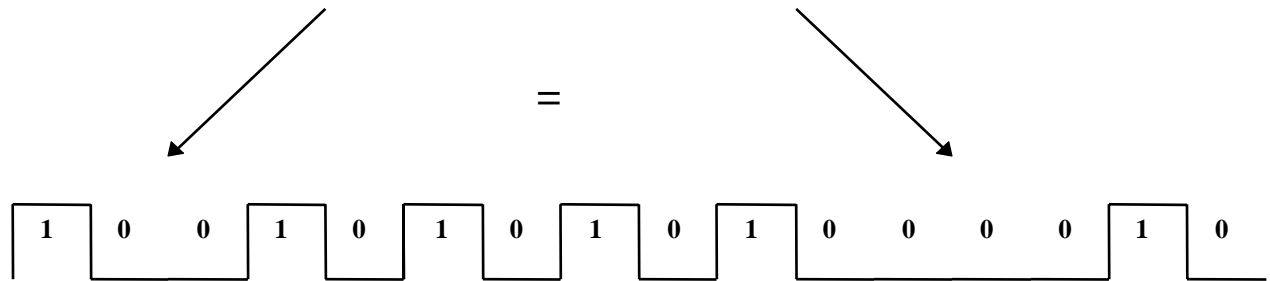
Flusso dati di sorgente a bit rate B_r



Codice di spreading a chip rate C_r



Segnale a banda larga (chip rate C_r)



SISTEMA UMTS:

- Lo standard fissa la chip rate $C_r = 3.84$ Mchip/sec

Richiami sui sistemi cdma (III)

Codici ortogonali

$$\langle p_i(t) \cdot p_j(t) \rangle = \frac{1}{NT_c} \int_0^{NT_c} p_i(t) \cdot p_j(t) dt = \begin{cases} 1 & \text{per } i = j \\ 0 & \text{per } i \neq j \end{cases}$$

$$\langle p_i(t) \cdot p_j(t + \tau) \rangle = \frac{1}{NT_c} \int_0^{NT_c} p_i(t) \cdot p_j(t + \tau) dt = ??$$

Se il valore di cross-correlazione è rilevante (dipende da τ) si determina elevata interferenza

- ✓ In presenza di "sincronismo" \Rightarrow **Codici ORTOGONALI**: hanno cross-correlazione nulla e quindi consentono di estrarre il segnale utile annullando completamente l'effetto delle interferenze mutue.
- ✓ In assenza di "sincronismo" i codici ortogonali non garantiscono buone proprietà di crosscorrelazione \Rightarrow **Codici "QUASI-ORTOGONALI" (Sequenze PN)** \Rightarrow A seguito dell'operazione di **despreading** rimane un livello di interferenza residua dipendente dai valori di cross-correlazione tra i codici utilizzati

UMTS: terminologia

- ✓ Utilizzando un accesso multiplo CDMA la trasmissione è **tempo-continua** ma viene suddivisa in frames and slots

SISTEMA UMTS:

- Radio frame: 10 ms, 15 time slots
- $C_r = 3.84 \text{ Mchip/sec} \Rightarrow 2560 \text{ chip per slot}$
- La potenza trasmessa deve essere costante su ogni slot
- La bit rate di sorgente deve essere costante su ogni frame

Spreading factor

- ✓ Flessibilità nella fornitura di servizi. Con questo sistema è possibile supportare **sorgenti a differente bit rate**.

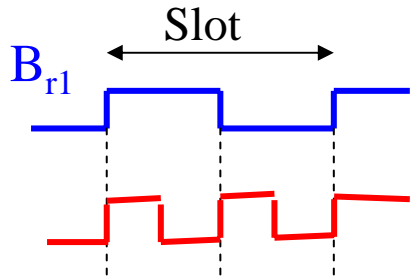
SISTEMA UMTS: esempi di possibili bit rate

- Servizio voce 12.2 kbit/sec
- Servizi dati 64 kbit/sec, 144 kbit/sec
- Servizio di web browsing 64 kbit/sec

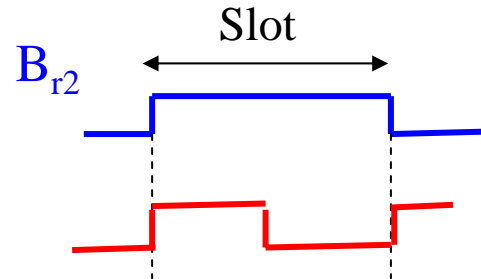
- ✓ In ogni caso la **chip rate** del segnale in aria è fissata dallo standard a 3.84 Mchip/sec
- ✓ *Definiamo **SPREADING FACTOR** il numero di chip con cui viene rappresentato ogni bit di informazione*
- ✓ Al fine di ottenere la stessa chip rate del segnale in aria indipendentemente dalla bit rate di sorgente occorre utilizzare una famiglia di codici a **spreading factor variabile**

Spreading factor: esempio

- Spreading factor FISSO:

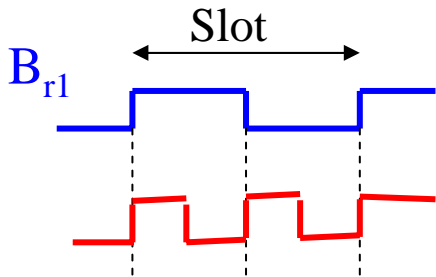


SF = 2 => 4 chips per slot

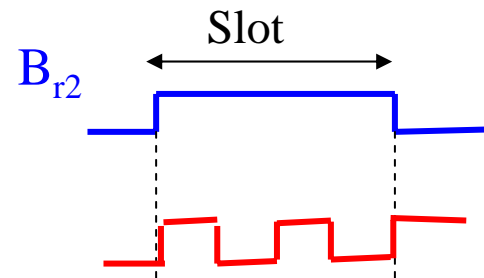


SF = 2 => 2 chips per slot

- Spreading factor VARIABLE:



SF = 2 => 4 chips per slot



SF = 4 => 4 chips per slot

Spreading e scrambling (I)

Ogni comunicazione è distinta dalle altre tramite l'assegnazione di un codice.



Oltre a produrre l'allargamento di banda i codici devono permettere di distinguere tra loro:

1. Le differenti sorgenti trasmissive:

- Stazioni base nella tratta di downlink
- Terminali mobili nella tratta di uplink

2. Le differenti trasmissioni di una singola sorgente:

- Differenti canali di una stessa stazione base nella tratta di downlink
- Differenti canali di uno stesso terminale mobile nella tratta di uplink.

SISTEMA UMTS:

- Differenti trasmissioni di una stessa sorgente sono **SINCRONE** => cod. ortogonali
- Differenti trasmissioni di differenti sorgenti NON sono sincrone

Spreading e scrambling (II)

Tutto questo è ottenibile tramite la moltiplicazione del segnale di sorgente non con un solo codice (come visto fino ad ora) ma con **2 codici**:

- Codice di **SCRAMBLING**:

- Distinguono tra loro le differenti sorgenti

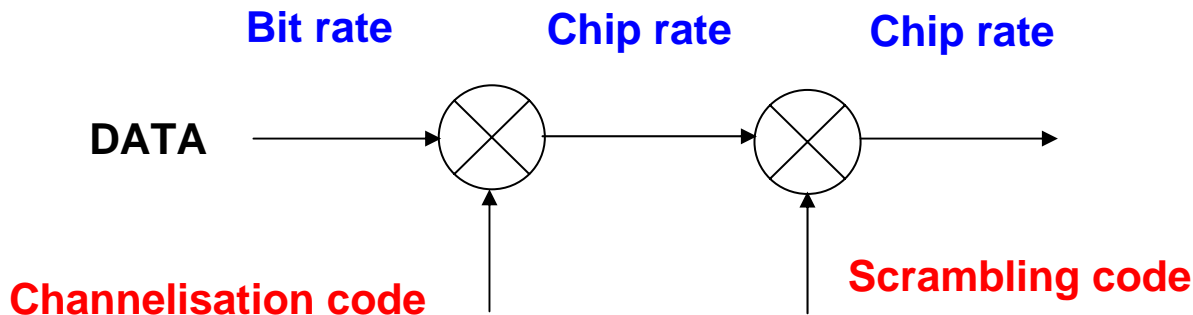
- A causa dei differenti ritardi di propagazione, fra i segnali ricevuti da differenti sorgenti non ci può essere sincronismo \Rightarrow codici PN

- Codici di **SPREADING o CANALIZZAZIONE**:

- Separano i segnali di una singola sorgente

- Allargano lo spettro del segnale

- I segnali ricevuti dalla stessa sorgente subiscono ovviamente lo stesso ritardo \Rightarrow sincronismo \Rightarrow codici ortogonali

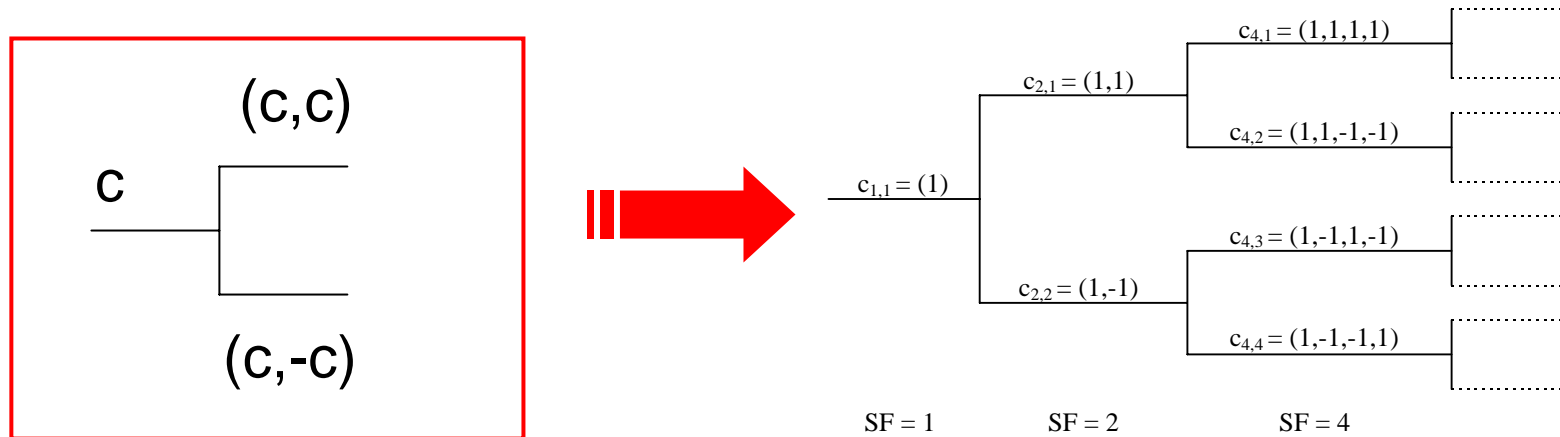


Codici di spreading(I)

SISTEMA UMTS:

Codici OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor), sia in uplink che in downlink

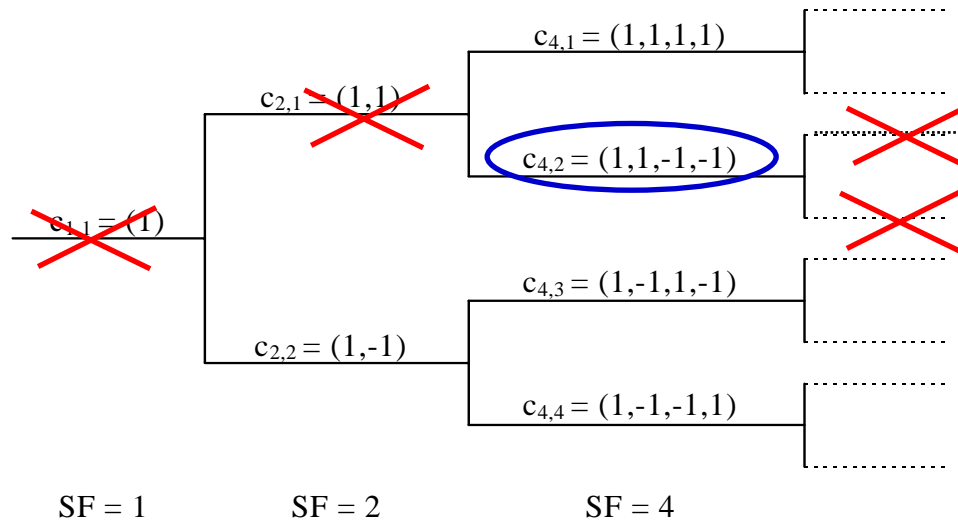
- ✓ Sono rappresentabili tramite un diagramma ad albero in cui ogni parola è associata ad un ramo



- ✓ I chip di ogni parola di codice sono di volta in volta tutti contenuti nel tempo di bit della sorgente
- ✓ Il numero di chip di ogni parola è lo spreading factor. Ad ogni livello nell'albero corrisponde un fissato valore di spreading factor.

Codici di spreading(II)

- ✓ Se si vuole conservare l'ortogonalità i codici OVSF **NON** possono essere utilizzati tutti contemporaneamente. Esempio:



- ✓ Le condizioni di propagazione reali (cammini multipli, distorsioni,...) degradano l'ortogonalità => anche in condizioni di sincronismo si ha un residuo di crosscorrelazione NON nullo (fattore di NON ortogonalità)

Codici di scrambling

- Non cambiano la banda del segnale
- Servono a distinguere sorgenti tra loro **NON** sincrone (Es. trasmissioni di differenti stazioni base) => **NON** si usa una famiglia di codici ortogonali

SISTEMA UMTS:

Con ricevitori **RAKE** si usano codici di scrambling lunghi:

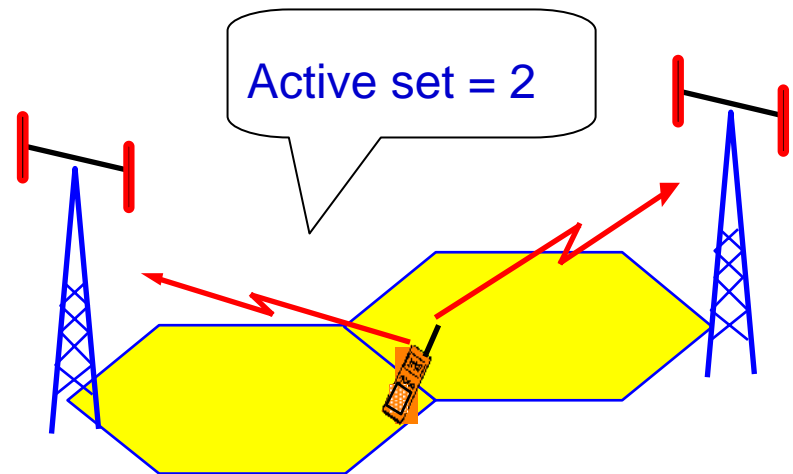
- Sono codici di Gold
- Pseudo noise
- Codici "lunghi" (10ms = 38400 chip) => minore residuo di cross-correlazione, poiché è proporzionale a $1/L$ dove L è la lunghezza della parola di codice
- In down link sono 512
- L'applicazione del codice di scrambling rende possibile l'utilizzo dello stesso insieme di codici OVFSF per ogni stazione base e ogni terminale mobile

Codici: riepilogo

	Codici di canalizzazione	Codici di scrambling
Uso	Uplink: separazione di comunicazioni di uno stesso terminale mobile Downlink: separazione di comunicazioni di una stessa stazione base	Uplink: separazione di differenti terminali mobili Downlink: separazione di differenti stazioni base
Famiglia utilizzata	OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor)	Gold (codici pseudo-noise)
Spreading	Sì, allargano la banda del segnale	No, non alterano la banda del segnale
Lunghezza	Uplink: 4-256 chips Downlink: 4-512 chips	38400 chips

Soft handover e macrodiversità

- ✓ Sistema CDMA: tutte le celle operano sulla stessa portante (**riuso frequenziale = 1**) => il terminale mobile può essere connesso in parallelo a più stazioni base contemporaneamente
- ✓ Conseguenze:
 - **SOFT HANDOVER**: minimo rischio di interruzione della chiamata nel passaggio da una cella ad un'altra
 - **MACRODIVERSITA'**: migliora la qualità della chiamata

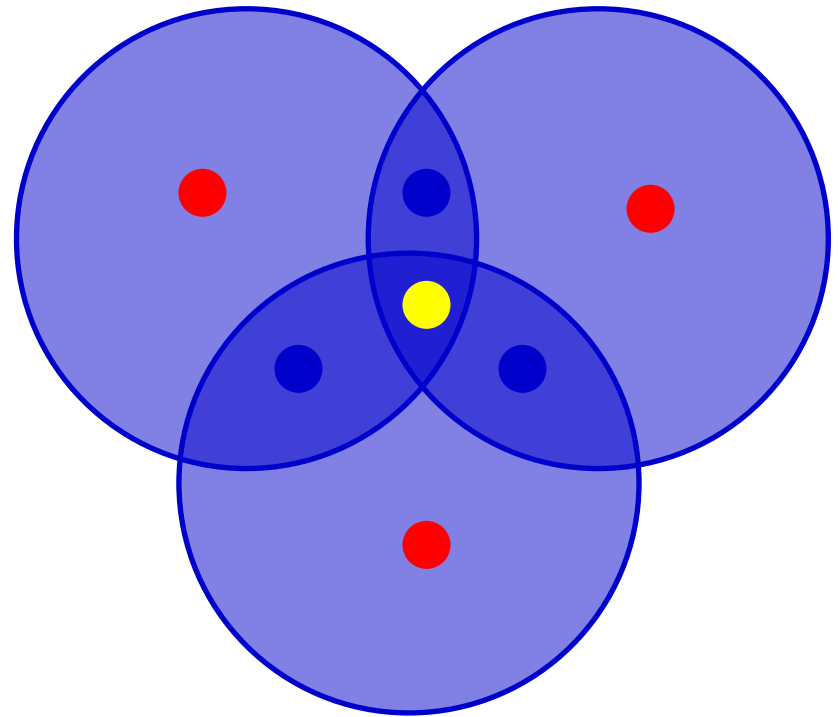


SISTEMA UMTS:

- Si definisce **ACTIVE SET** l'insieme di stazioni base a cui il terminale mobile è contemporaneamente connesso

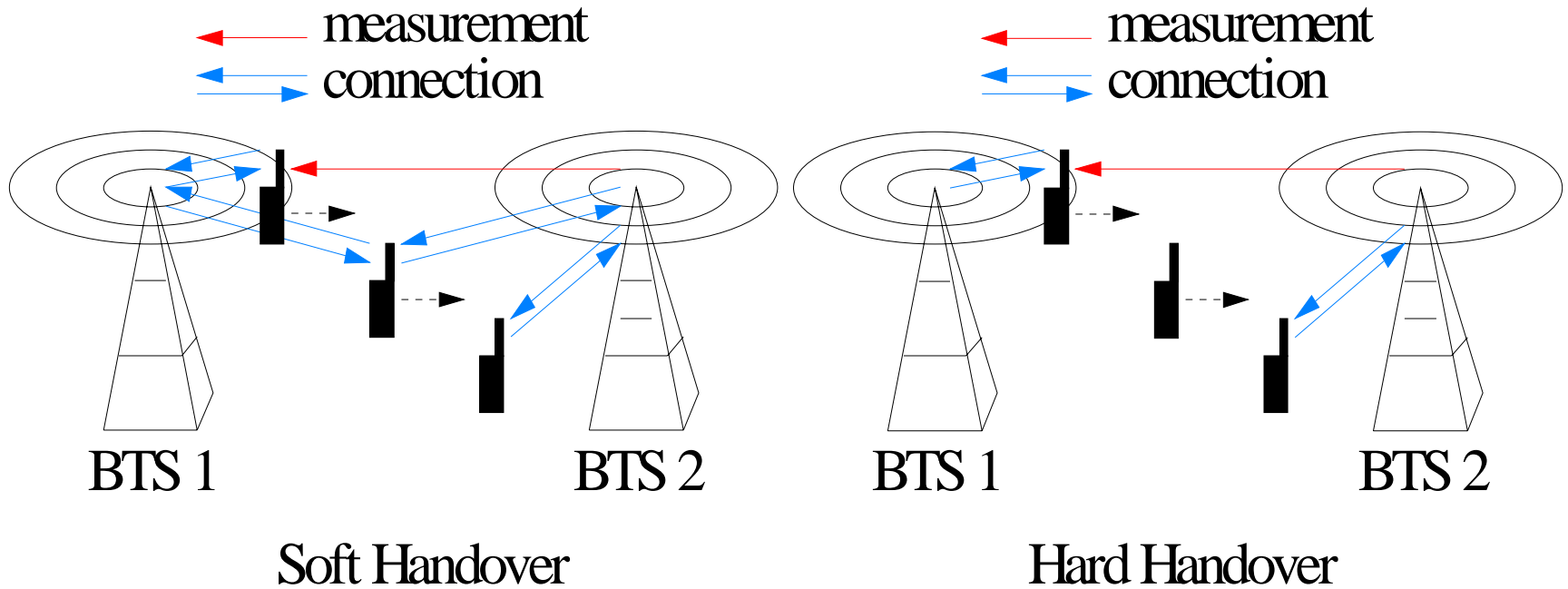
Soft handover

- ✓ Il terminale mobile può coinvolgere nella chiamata tutte le stazioni base da cui riceve un segnale di riferimento (pilota) sufficientemente buono. Si individuano quindi zone differenti:



- ✓ Se il terminale è connesso a 2 settori della stessa stazione base (copertura settoriale) si parla di *softer handover*

Soft vs. hard handover



Macrodiversità (I)

Active set > 1 => il terminale mobile opera in MACRODIVERSITA'

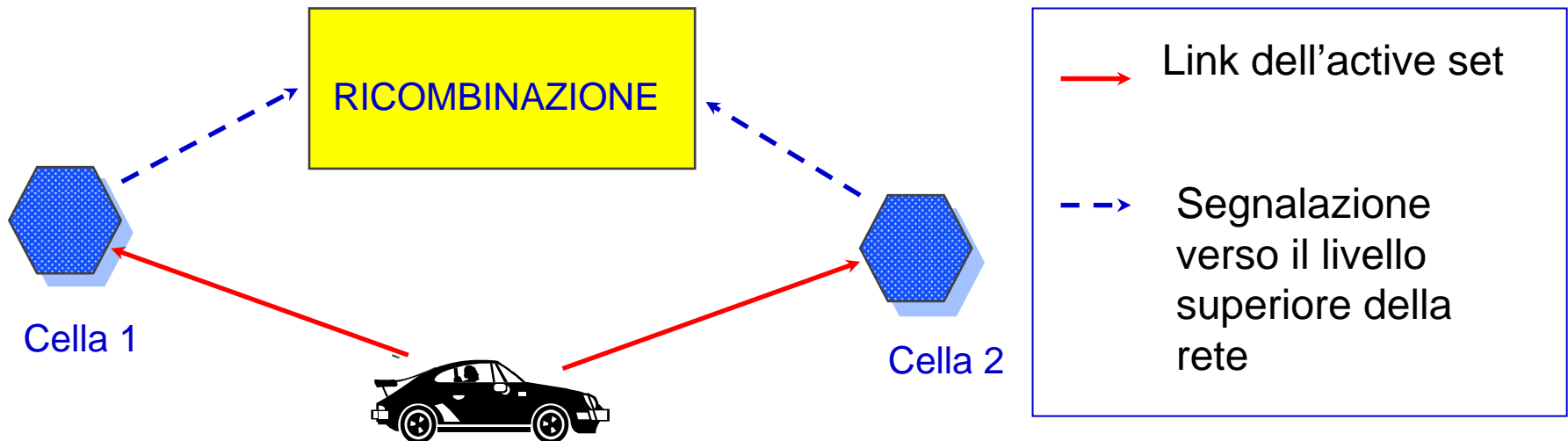
✓ DOWNLINK:

- il terminale mobile riceve la stessa informazione utile da più di una stazione base contemporaneamente
- Ogni link verso una delle stazioni base dell'active set utilizza una differente coppia di codici (spreading + scrambling)
- Il terminale può migliorare la qualità della comunicazione combinando i segnali che riceve dalle stazioni base a cui è contemporaneamente connesso (Rake Receiver)

Macrodiversità (II)

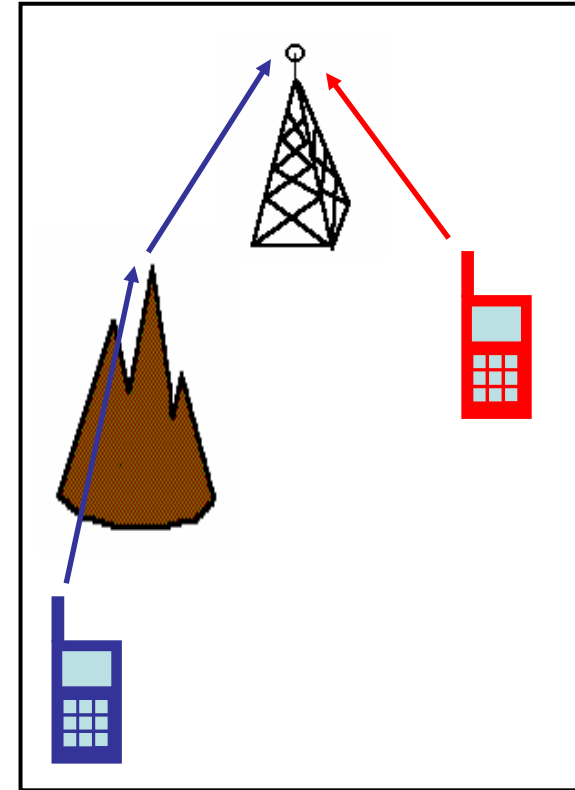
✓ UPNLINK:

- Il segnale trasmesso dal mobile viene decodificato da tutte le stazioni base appartenenti all'active set
- I segnali decodificati dalle differenti stazioni base dell'active set vengono ricombinati dalla rete a livello superiore
- Si ottiene un miglioramento della qualità della comunicazione



Power Control

- ✓ Il guadagno di processo “protegge” la comunicazione utile, poiché solo una frazione $1/G_p$ della potenza trasmessa da un utente interferente risulta effettivamente tale
- ✓ Tuttavia può accadere l'utente utile si trovi in condizioni di propagazione molto più penalizzanti rispetto all'utente interferente \Rightarrow nonostante il *process gain* la potenza interferente può risultare eccessivamente alta rispetto a quella utile, a scapito della buona qualità del collegamento (problema del *near-far*)
- ✓ Tale problematica (tipica dei sistemi CDMA e per la tratta di *up-link in particolare*) deve essere opportunamente controllata per mezzo di opportune politiche di *Controllo di Potenza* (i trasmettitori aggiustano la potenza irradiata al variare delle condizioni di propagazione)



Esempio (1/2)

- ✓ Il principio generale cui si deve ispirare qualunque algoritmo di *Power Control* è alquanto semplice: "chi si trova più vicino alla stazione radio base deve trasmettere con potenze inferiori rispetto a chi si trova più lontano";
- ✓ Il criterio più semplice (tratta di *up-link*) corrisponde ad ipotizzare che tutti i terminali trasmettano potenze tali da essere tutti ricevuti con la stessa potenza ("controllo della potenza ricevuta")
- ✓ In tal caso, è semplice valutare la *capacità del sistema*, cioè il numero massimo di utenti contemporaneamente attivi in un settore isolato e nel caso di singolo servizio. Infatti

$$\left. \begin{aligned} \frac{C}{I} &= \frac{C}{(N_s - 1) \cdot C} \\ \frac{C}{I} &= \left(\frac{C}{I} \right)_{\text{target}} = \frac{1}{G_p} \cdot \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{target}} \end{aligned} \right\} G_p \cdot \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{target}} = \frac{1}{(N_s - 1)} \Rightarrow N_s = 1 + \frac{G_p}{\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{target}}}$$

Esempio (2/2)

- ✓ Tenendo conto del fatto che l'interferenza è in realtà diminuita dal fatto che gli interferenti trasmettono in maniera discontinua (*Activity Factor* $AF \leq 1$) e che l'interferenza dovuta alle celle adiacenti riduce di un fattore $F \leq 1$ il numero di utenti servibili, il numero N di utenti per cella può essere stimato come:

$$N = \frac{3 \cdot N_s \cdot F}{AF} = \frac{3 \cdot F}{AF} \cdot \left(1 + \frac{G_p}{\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{target}}} \right) \approx \frac{3 \cdot F}{AF} \cdot \frac{G_p}{\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{target}}}$$

- ✓ I sistemi CDMA reali implementano di solito algoritmi di *Power Control* diversi da quello sulla potenza ricevuta (più complicati ma anche più efficienti).....

Controllo di potenza: up-link

- **Aumenta la capacità del sistema**
- Evita che qualcuno “urli”
- Elimina l'effetto near-far (in DL invece tutti i segnali arrivano al mobile percorrendo lo stesso cammino...)

SISTEMA UMTS:

• Controllo di potenza basato sulla qualità: occorre che il mobile trasmetta la minore potenza possibile che garantisce le specifiche di qualità fissate per il servizio considerato

- ✓ Il terminale mobile deve modificare la potenza trasmessa in modo da mantenere il rapporto segnale/rumore ricevuto dalla stazione base pari ad una soglia assegnata

SISTEMA UMTS:

- Controllo di potenza ad anello aperto
- Controllo di potenza ad anello chiuso

Controllo di potenza ad anello aperto

- ✓ Utilizzato in uplink in fase di messa in piedi della chiamata
- ✓ La stazione base trasmette un segnale predefinito tramite cui il mobile effettua una stima dell'attenuazione in downlink
- ✓ In base a questa stima il mobile determina il valore della potenza con cui trasmettere

Questo significa che

- ✓ Si suppone l'attenuazione in uplink uguale a quella in downlink: in realtà non è vero perché la distanza in frequenza tra le bande usate per le 2 tratte è tale da rendere poco correlati i fenomeni di propagazione in uplink e in downlink
- ✓ Questo metodo non è molto preciso ...

Controllo di potenza ad anello chiuso: inner loop

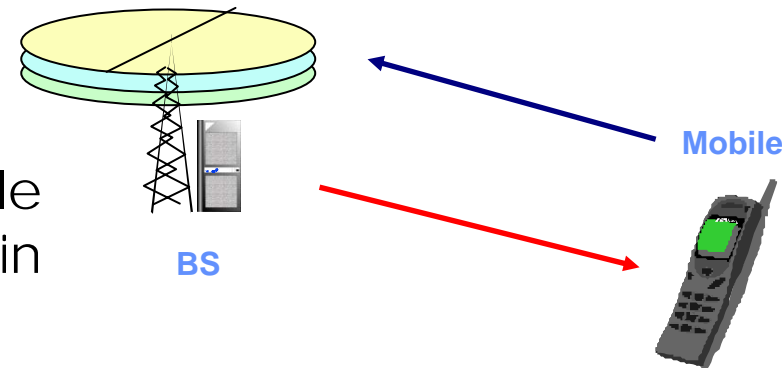
1. Collegamento in UL. La comunicazione viene ricevuta dalla BS con un certo SIR = $(E_b/N_o)_c$

2. Confronto. Il valore di $(E_b/N_o)_c$ viene confrontato con $(E_b/N_o)_{target}$ per produrre un comando di power control:

- $(E_b/N_o)_c > (E_b/N_o)_{target} \Rightarrow$ il mobile deve diminuire la sua potenza
- $(E_b/N_o)_c < (E_b/N_o)_{target} \Rightarrow$ il mobile deve aumentare la sua potenza
- $(E_b/N_o)_c = (E_b/N_o)_{target} \Rightarrow$ il mobile non deve modificare la sua potenza (può essere opportuno prevedere una "finestra di *power control*")

3. Invio del comando di PC. Il comando di power control ricavato al punto 2 viene inviato al mobile

4. Esecuzione del comando di PC. Il mobile modifica la sua potenza in trasmissione in base al comando ricevuto



SISTEMA UMTS: l'*inner loop* è una delle 2 fasi che costituiscono il controllo di potenza ad anello chiuso e viene eseguita ogni time slot

Controllo di potenza ad anello chiuso: outer loop

- ✓ I requisiti di qualità di ogni servizio vengono definiti in termini di BER o di FER
- ✓ Occorre determinare un valore del SIR target con cui effettuare il confronto che garantisca la qualità fissata (BER o FER) per il servizio considerato

L'**OUTER LOOP** verifica periodicamente che il valore di SIR target che si sta utilizzando per il confronto garantisca la qualità del servizio fissata in termini di BER o di FER. Se questo non è vero determina un nuovo valore appropriato del SIR target con cui fare il confronto.

SISTEMA UMTS: la seconda delle fasi che costituiscono il controllo di potenza ad anello chiuso è detta **outer loop** e viene eseguita ogni N frames

Principi di Pianificazione di Rete (1/5)

2G vs. 3G

Sistemi cellulari di 2^a generazione (GSM) :

- ✓ $(C/I)_{\text{target}}$, α (filtraggio spaziale) \Rightarrow m (*cluster-size*) necessario per allontanare a sufficienza l'interferente co-canale;
- ✓ n_{tot} (numero totale di risorse), $m \Rightarrow n_c$ (numero di risorse – canali – per cella)
- ✓ n_c , P_b (probabilità di blocco) \Rightarrow massimo "traffico" smaltibile per cella
- ✓ Massimo traffico sostenibile, distribuzione utenti sul territorio \Rightarrow dimensione della cella R_c
- ✓ $R_c \Rightarrow$ altezza h_{BS} / potenza P_{BS} della stazione radio base

Principi di Pianificazione di Rete (2/5)

2G vs. 3G

- ✓ Una volta dimensionata la rete 2G, la **“copertura” non dipende dal “traffico”, cioè la dimensione delle celle non dipende dal traffico al suo interno**: un utente che si trovi a distanza $R \leq R_c$ può sempre attivare un servizio (chiamata) – e quindi è “coperto” – qualunque sia il numero di utenti già attivi (n_u) e qualunque sia la loro posizione all’interno della cella;
- ✓ Fa ovviamente eccezione il caso $n_u = n_c$, che però si verifica normalmente con probabilità P_b opportunamente bassa, oppure in condizioni di straordinarie e temporanee concentrazioni di utenti (es: concerti, manifestazioni sportive, ecc.)
Il “blocco di un utente” (rifiuto della Rete di attivare il servizio richiesto) è dovuto solo alla indisponibilità di risorse (che sono in numero finito).
- ✓ L’ammissione al servizio non incide sulla QoS delle comunicazioni già attive né dipende da esse.
La QoS di un utente è garantita in qualunque punto della cella (salvo eventuale *fading* che non è considerato nel valore di α)

Principi di Pianificazione di Rete 2G vs. 3G

(3/5)

Sistemi cellulari di 3^a generazione (UMTS) :

- ✓ Non è necessaria alcuna suddivisione delle risorse fra le celle (*cluster-size* unitario)
- ✓ Codici PN \Rightarrow cross-correlazione non nulla rigorosamente \Rightarrow **l'ammissione di un nuovo utente aumenta il livello di interferenza per tutti gli utenti già attivi**, e quindi ne degrada la QoS; il meccanismo di *Power Control* interviene quindi per ripristinare un $SIR = SIR_{target}$ per tutti i collegamenti, richiedendo ai terminali il necessario aumento di potenza trasmessa. Ogni incremento determina tuttavia un nuovo aumento del livello di interferenza nella cella, che deve quindi essere nuovamente "compensato" \Rightarrow il rischio (da scongiurare) è che si inneschino "incrementi di potenza a catena", che determinano un eccessivo consumo delle batterie e che inoltre possono portare alcuni utenti al livello massimo di potenza senza per altro garantire la necessaria QoS (congestione del sistema)

Principi di Pianificazione di Rete

2G vs. 3G

(4/5)

- ✓ L'accesso di un utente al sistema non è quindi limitato dalla disponibilità di risorse (numero di codici molto elevato), ma piuttosto dall'interferenza:
 1. se l'ingresso dell'utente rischia di compromettere eccessivamente i collegamenti già attivi, allora deve essere impedito; tale valutazione non è sempre banale e richiede quindi lo sviluppo di particolari ed efficaci strategie di "***Call Admission***";
 2. se il livello di interferenza nella cella è già piuttosto elevato (traffico intenso), può accadere che il controllo di potenza ad anello aperto stimi una potenza necessaria per attivare il servizio richiesto superiore alla massima disponibile \Rightarrow l'accesso viene inevitabilmente impedito. Tale eventualità è tanto più probabile quanto maggiore è il livello di interferenza (numero di utenti già attivi) e la distanza dell'utente dalla stazione radio base \Rightarrow la copertura (dimensione della cella) dipende dal traffico e varia con esso ("***Cell Breathing***")

Principi di Pianificazione di Rete

2G vs. 3G

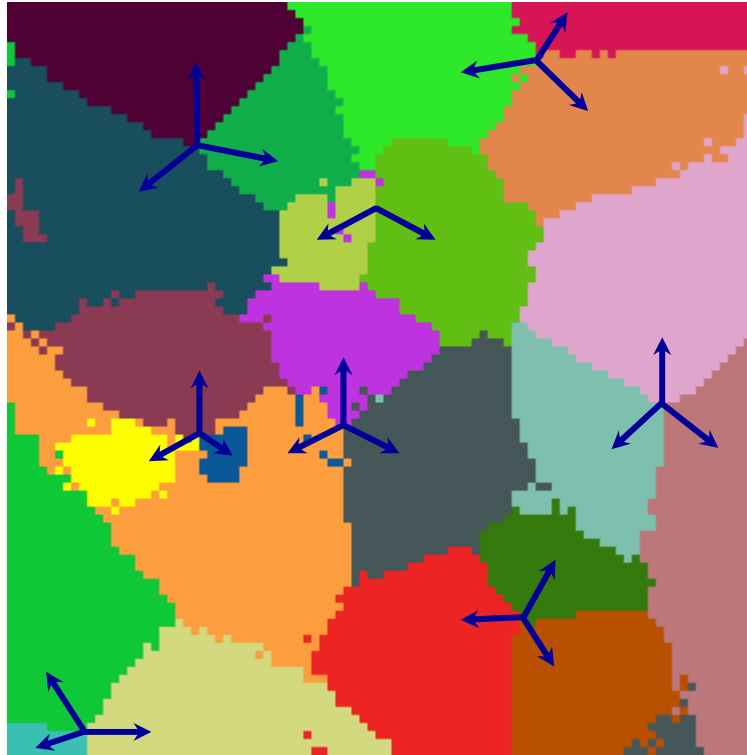
(5/5)

- ✓ Non è quindi semplice individuare il numero massimo di utenti attivi per cella (capacità) in un sistema CDMA (a parità di numero, la richiesta di un nuovo utente può essere accolta o meno a seconda di come sono dislocati gli utenti già attivi, del tipo di servizi attivi e della posizione dell'utente richiedente).

L'ingresso di un nuovo utente aumenta il livello di interferenza e quindi può determinare (nonostante il *Power Control*) un degrado della QoS di tutti i collegamenti attivi. La capacità della cella dipende quindi anche dal livello di degrado che si ritiene di poter accettare (*Soft Capacity*)

Esempio

Cell Breathing

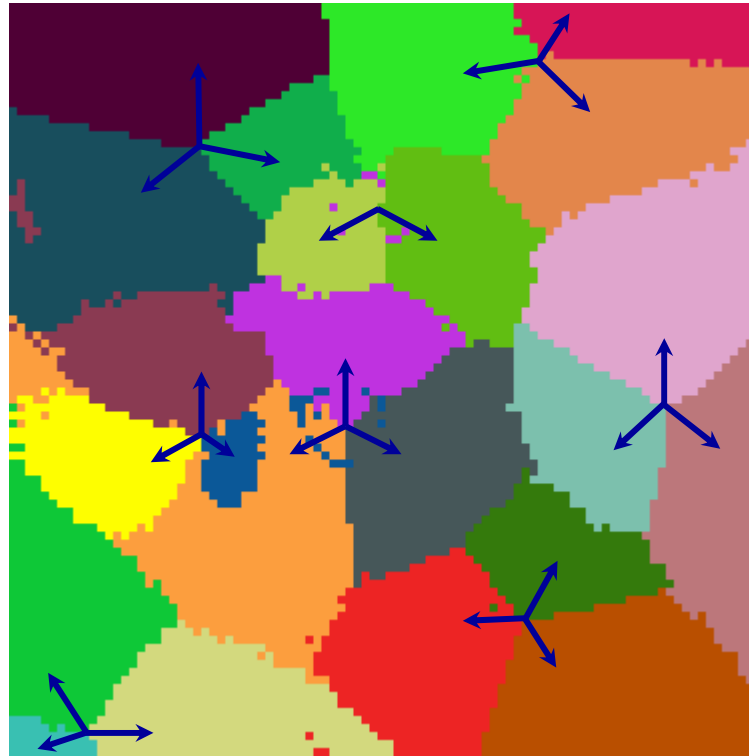


11 MARZO 1999

ORE 0:00

Esempio

Cell Breathing

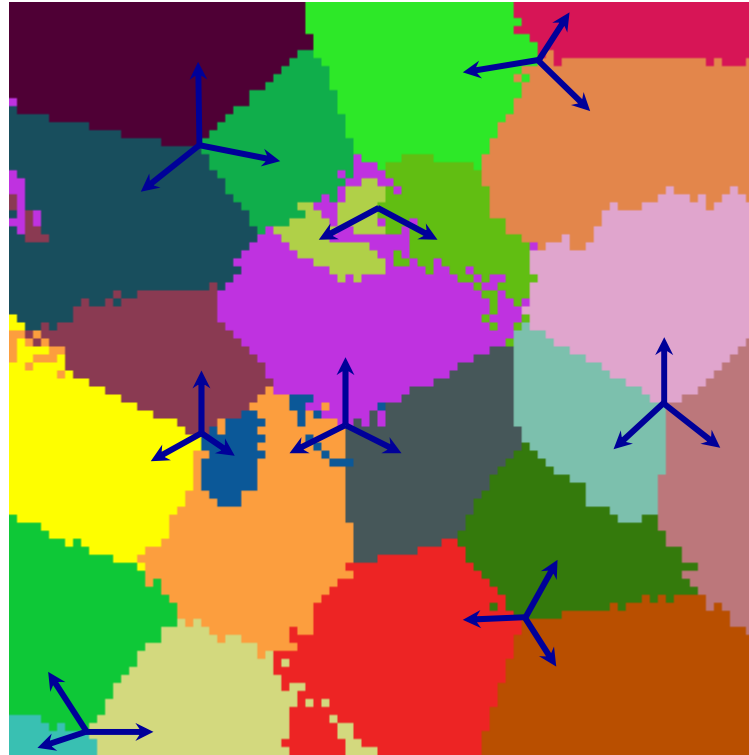


11 MARZO 1999

ORE 1:00

Esempio

Cell Breathing

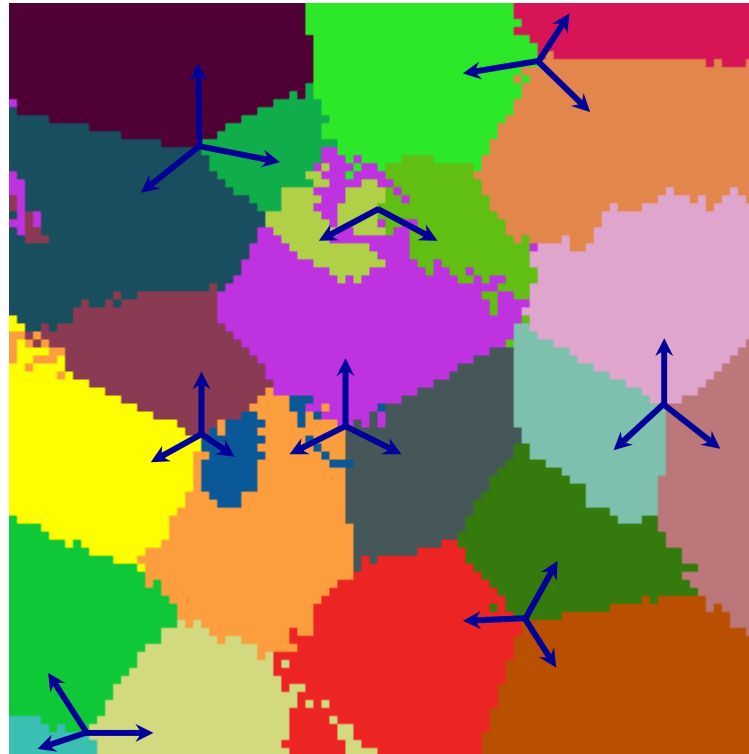


11 MARZO 1999

ORE 2:00

Esempio

Cell Breathing

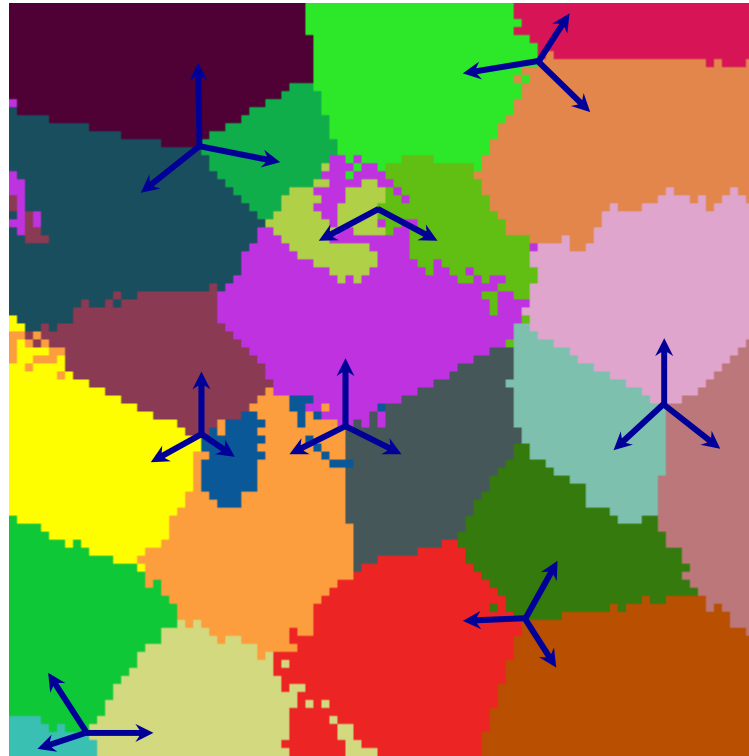


11 MARZO 1999

ORE 3:00

Esempio

Cell Breathing

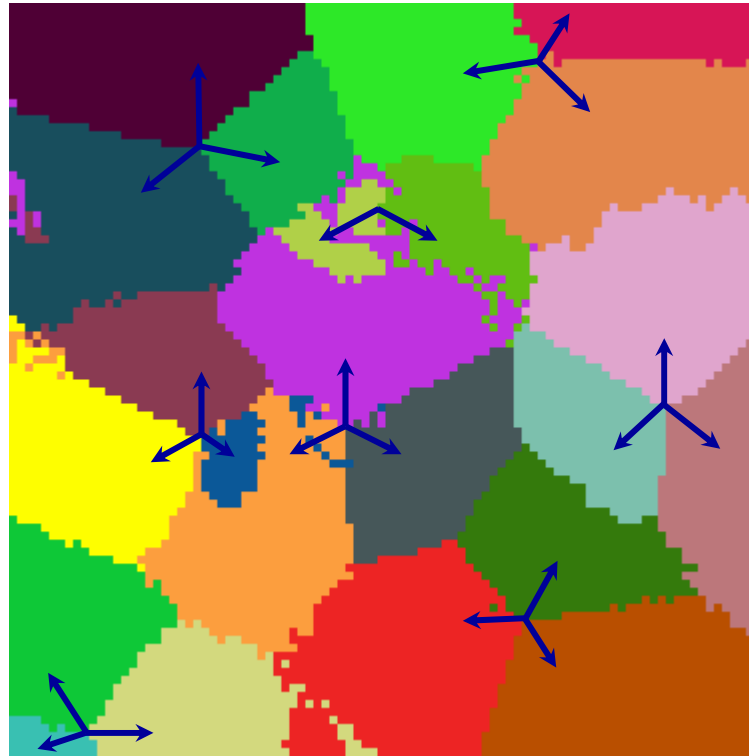


11 MARZO 1999

ORE 4:00

Esempio

Cell Breathing

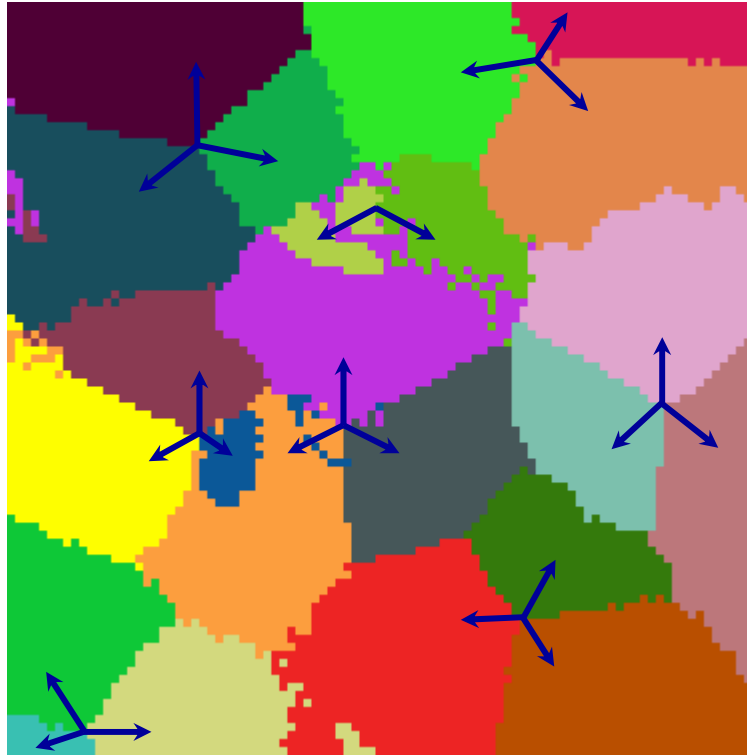


11 MARZO 1999

ORE 5:00

Esempio

Cell Breathing

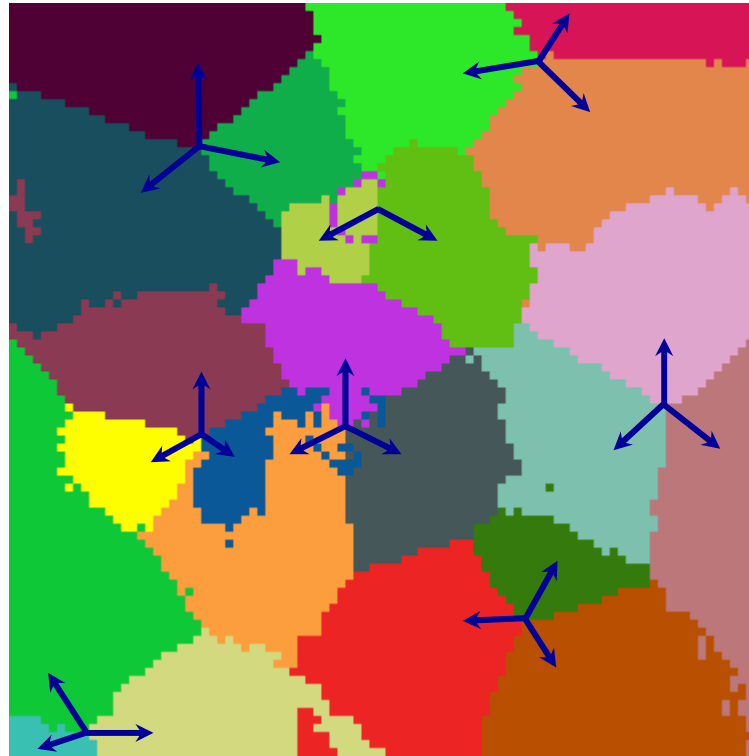


11 MARZO 1999

ORE 6:00

Esempio

Cell Breathing

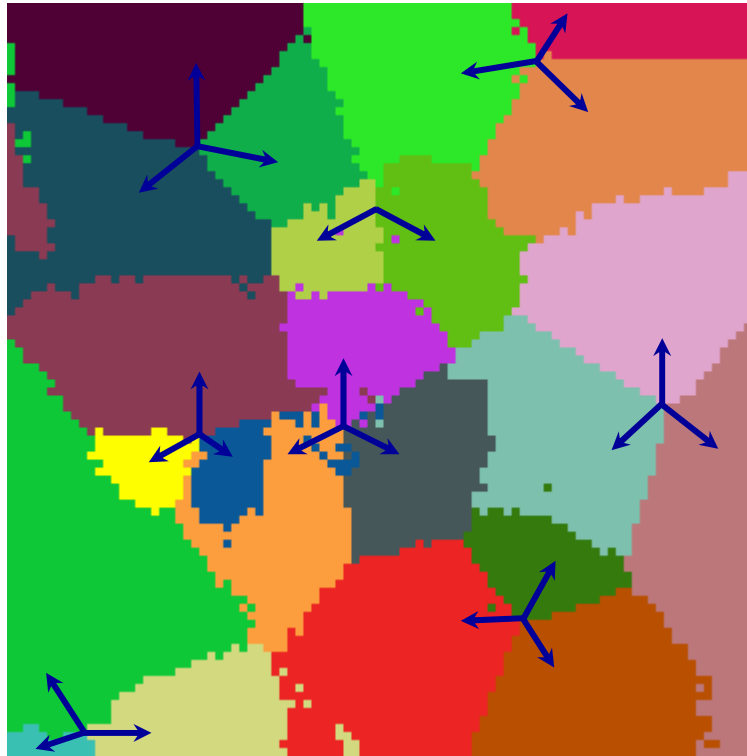


11 MARZO 1999

ORE 7:00

Esempio

Cell Breathing

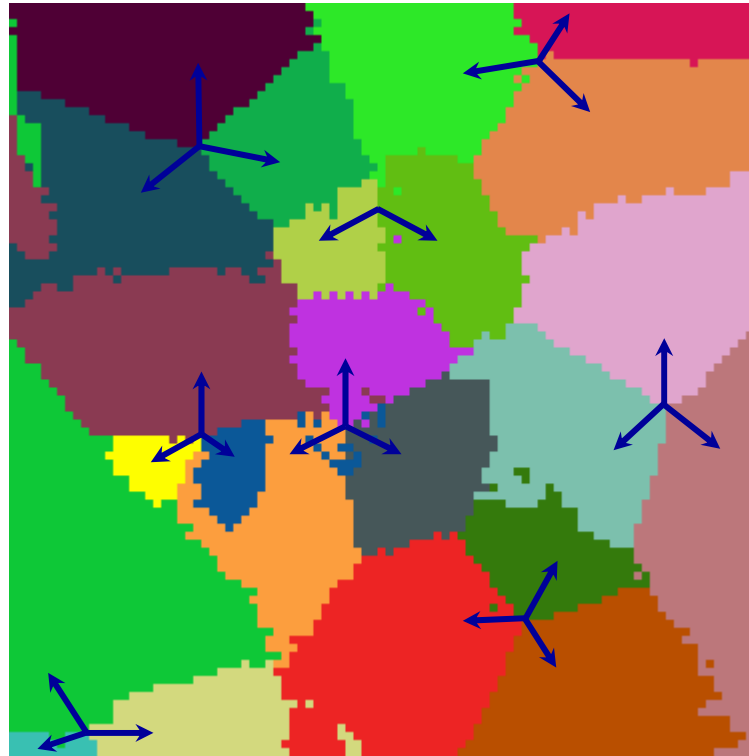


11 MARZO 1999

ORE 8:00

Esempio

Cell Breathing

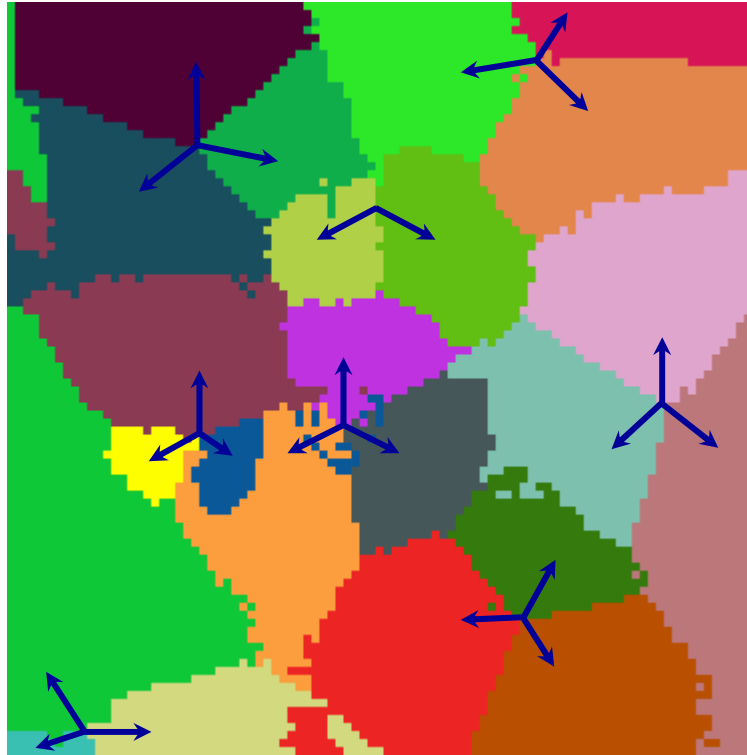


11 MARZO 1999

ORE 9:00

Esempio

Cell Breathing

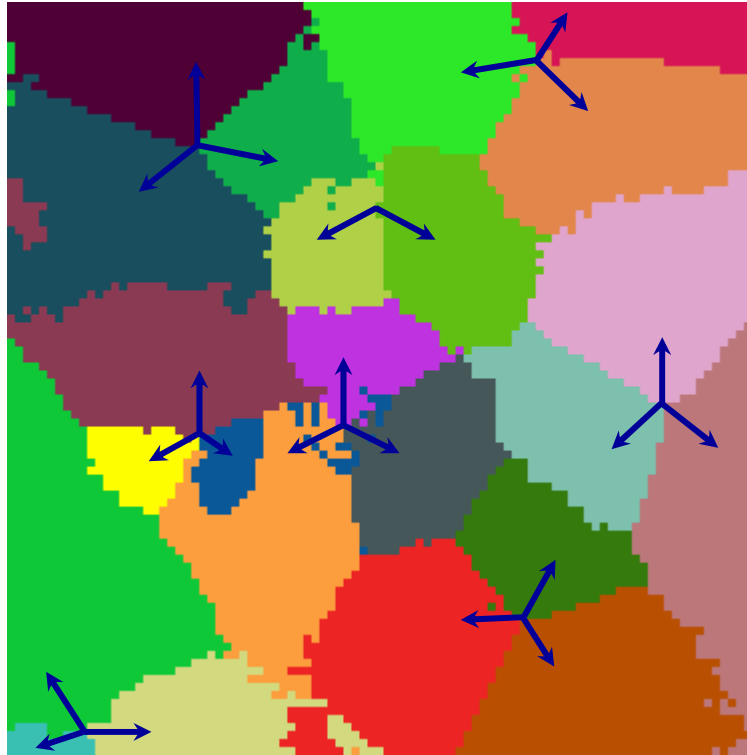


11 MARZO 1999

ORE 10:00

Esempio

Cell Breathing

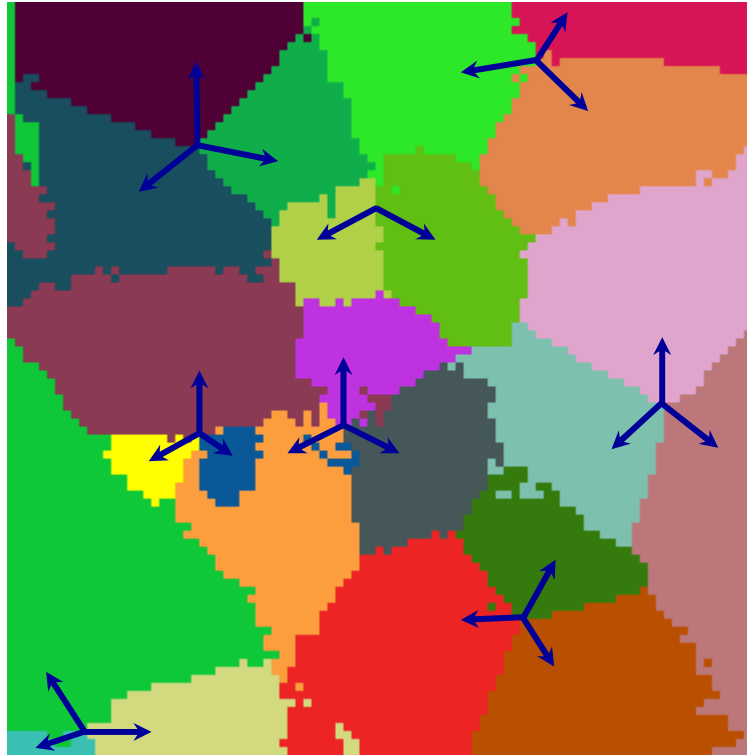


11 MARZO 1999

ORE 11:00

Esempio

Cell Breathing

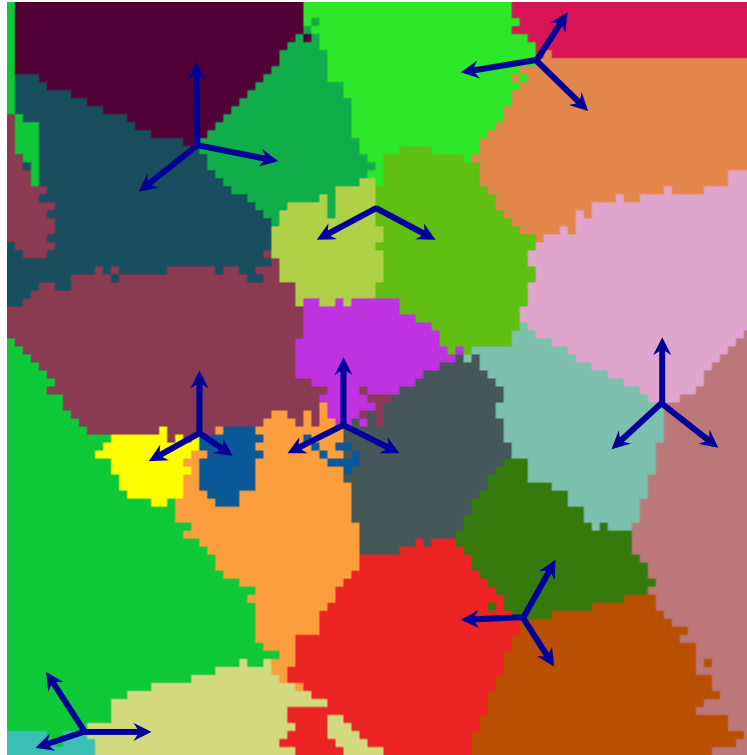


11 MARZO 1999

ORE 12:00

Esempio

Cell Breathing

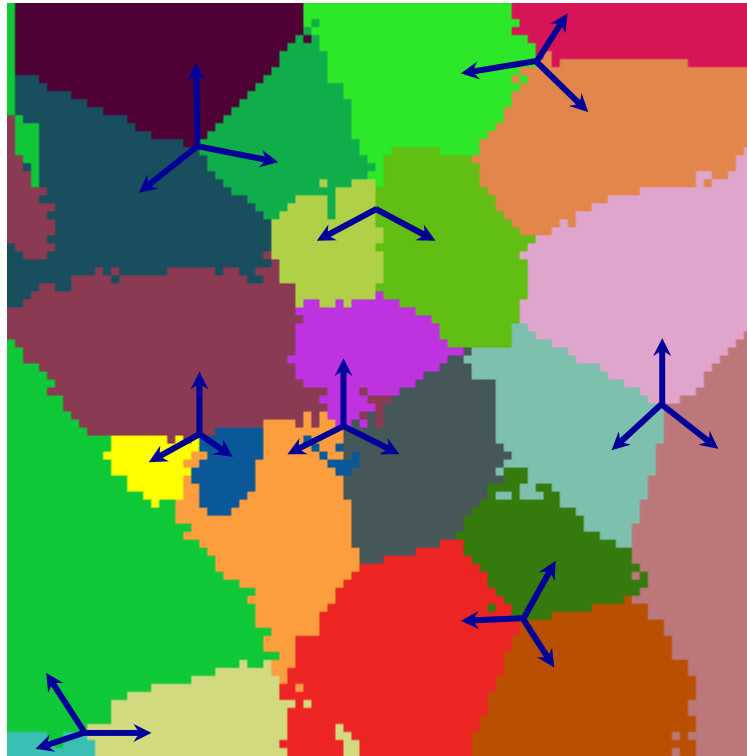


11 MARZO 1999

ORE 13:00

Esempio

Cell Breathing

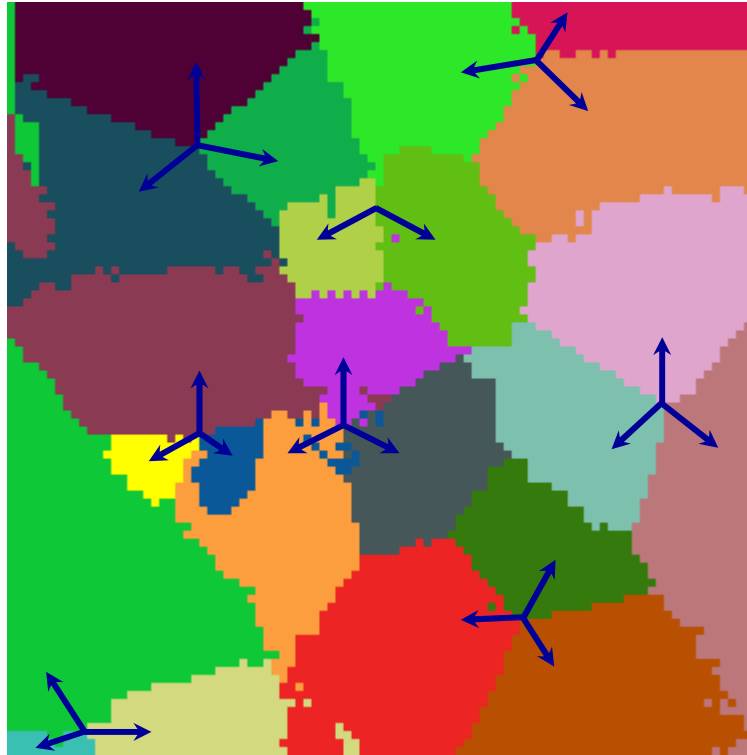


11 MARZO 1999

ORE 14:00

Esempio

Cell Breathing

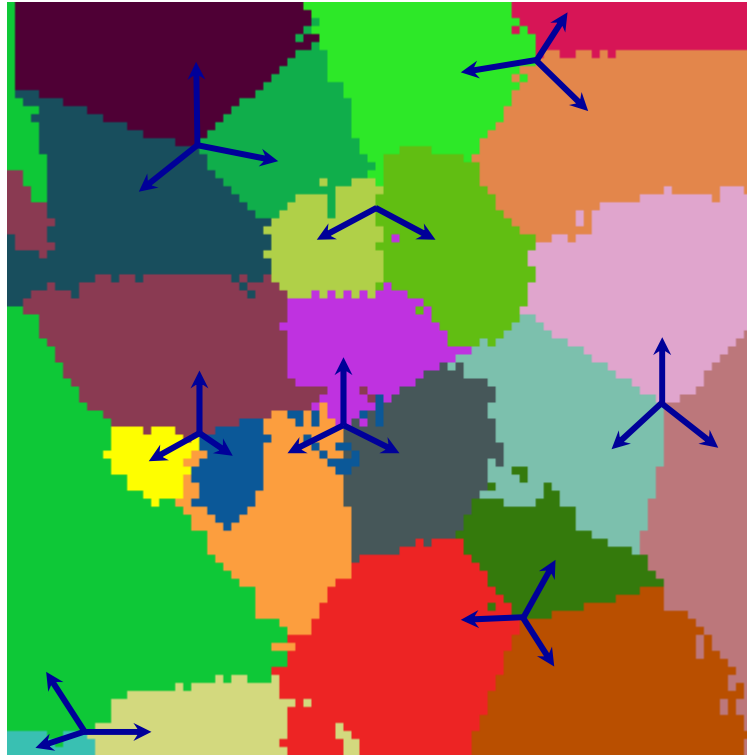


11 MARZO 1999

ORE 15:00

Esempio

Cell Breathing

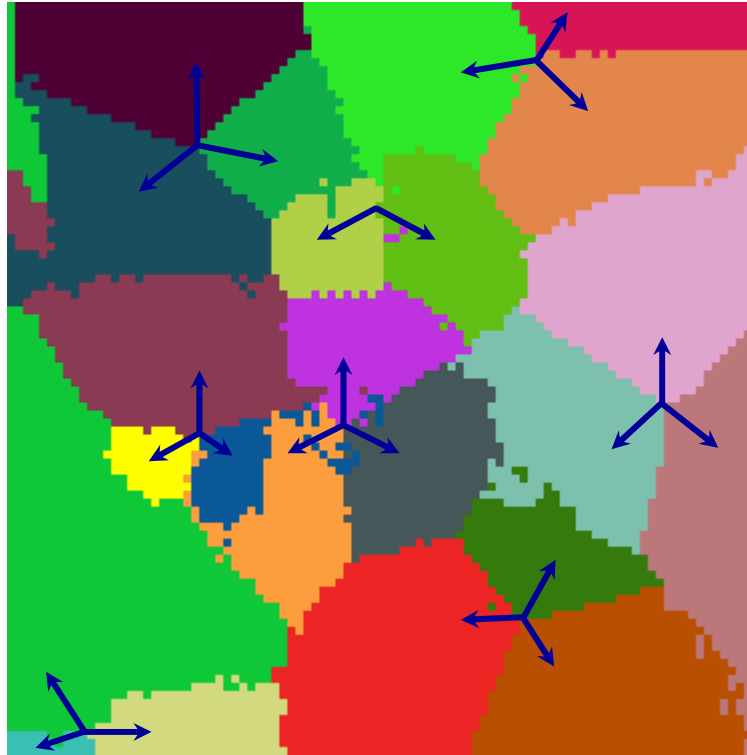


11 MARZO 1999

ORE 16:00

Esempio

Cell Breathing

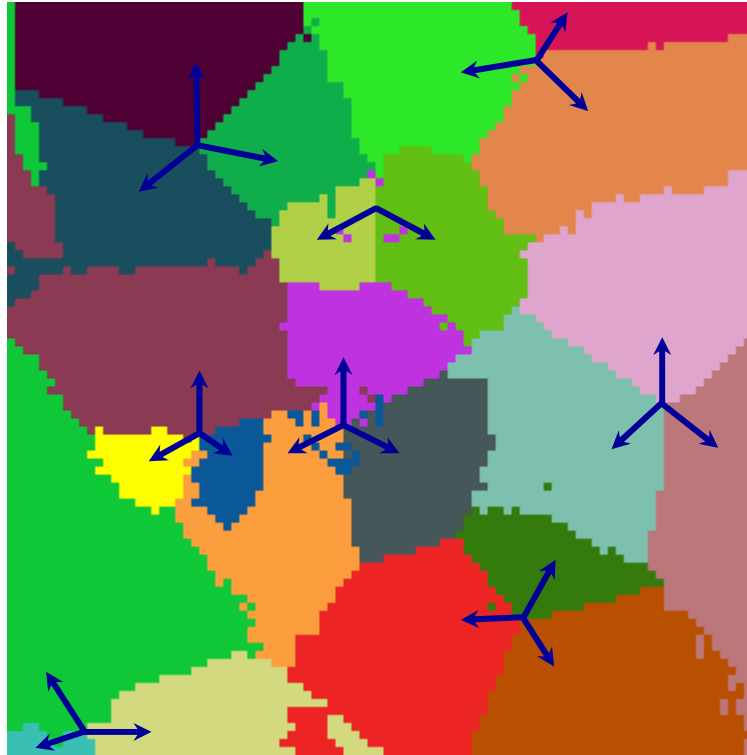


11 MARZO 1999

ORE 17:00

Esempio

Cell Breathing

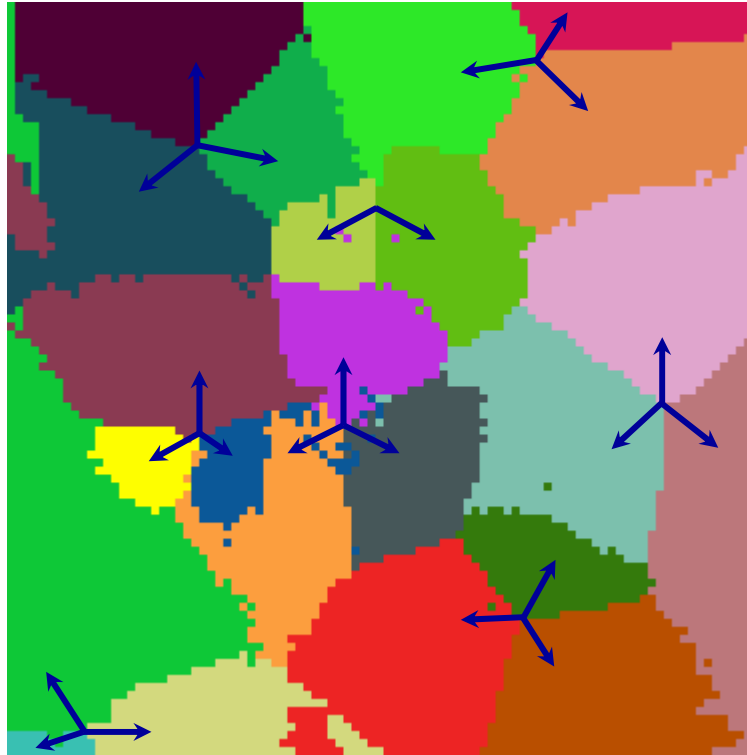


11 MARZO 1999

ORE 18:00

Esempio

Cell Breathing

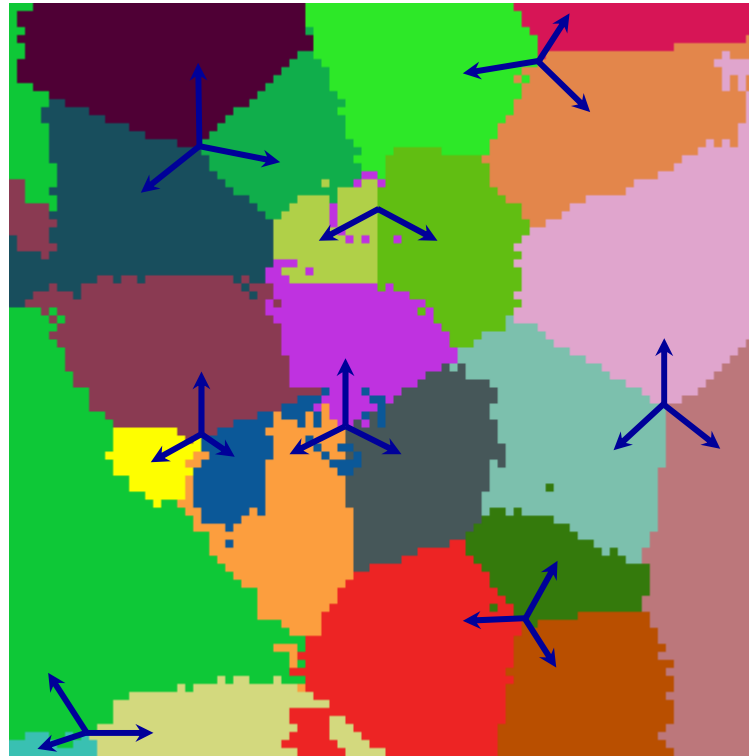


11 MARZO 1999

ORE 19:00

Esempio

Cell Breathing

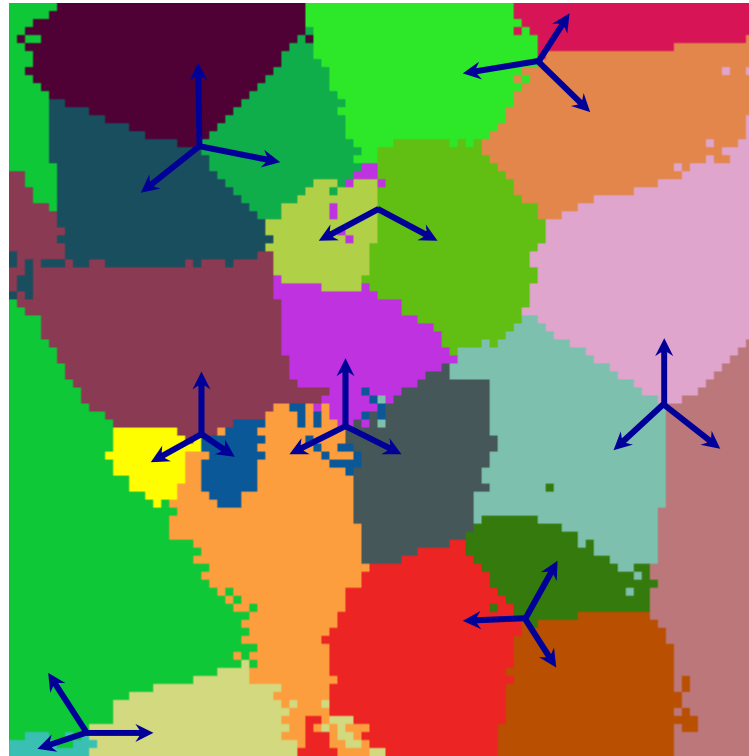


11 MARZO 1999

ORE 20:00

Esempio

Cell Breathing

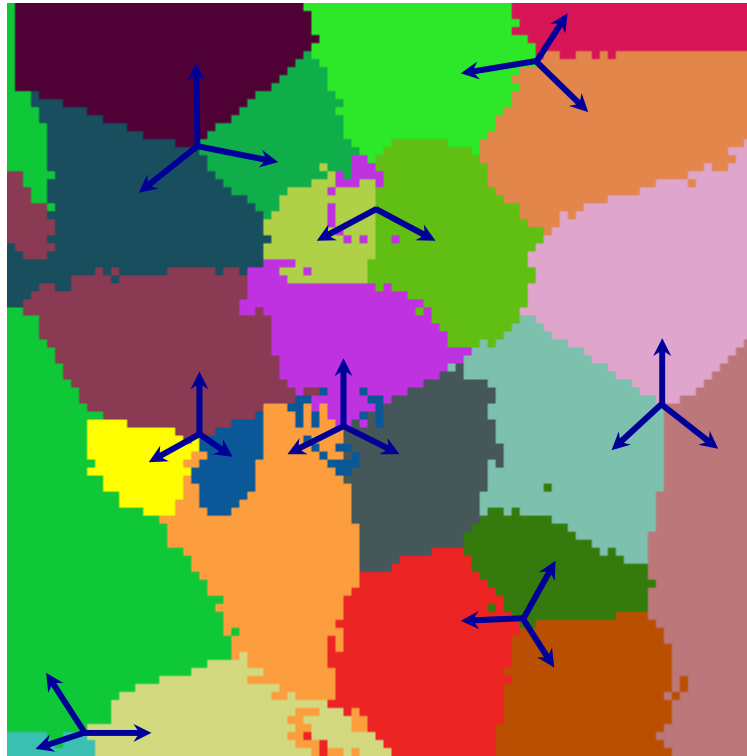


11 MARZO 1999

ORE 21:00

Esempio

Cell Breathing

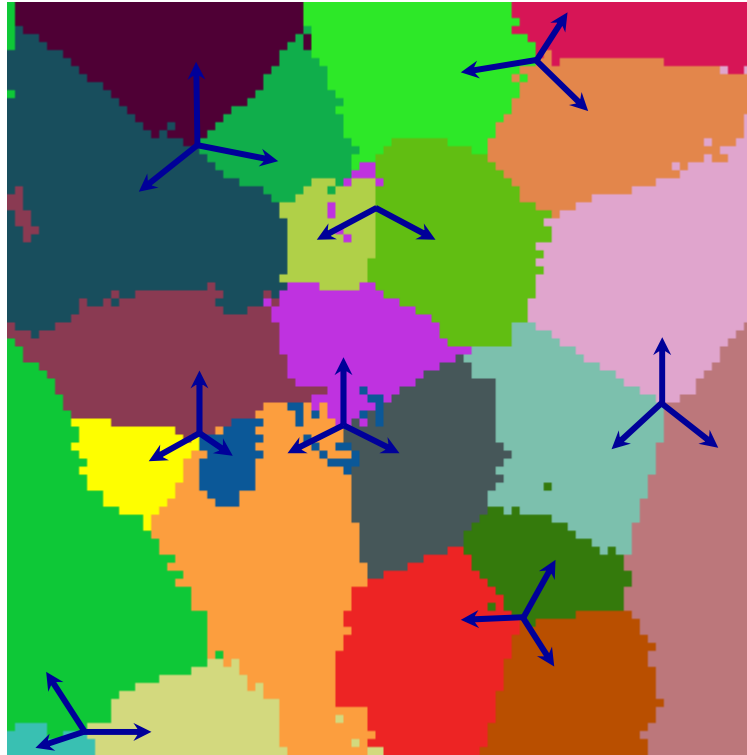


11 MARZO 1999

ORE 22:00

Esempio

Cell Breathing



11 MARZO 1999

ORE 23:00